

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 1月30日  
Date of Application:

出願番号 特願2003-022113  
Application Number:

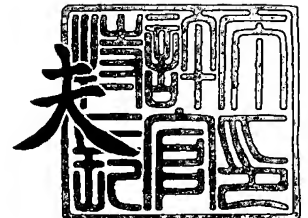
[ST. 10/C]: [JP 2003-022113]

出願人 豊田合成株式会社  
Applicant(s):

2003年 9月24日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康夫



出証番号 出証特2003-3078304

【書類名】 特許願

【整理番号】 P02114TG

【提出日】 平成15年 1月30日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

H01S 5/20

H01S 5/22

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地 豊田合成株式会社内

【氏名】 安藤 雅信

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地 豊田合成株式会社内

【氏名】 渡辺 大志

【特許出願人】

【識別番号】 000241463

【氏名又は名称】 豊田合成株式会社

【代理人】

【識別番号】 100087723

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤谷 修

【電話番号】 052-363-2558

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007445

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0012134

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 端面発光型の半導体レーザ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

結晶成長基板上に複数の半導体層を積層することにより共振器等が形成される端面発光型の半導体レーザにおいて、

n 型コンタクト層の膜厚が、

活性層の発光波長  $\lambda$  と、

前記発光波長  $\lambda$  に依存する前記 n 型コンタクト層の屈折率  $n$  と、

前記発光波長  $\lambda$  に依存する前記 n 型コンタクト層の導波モードの等価屈折率  $n_{eq}$  と

を用いて表現される前記発光波長  $\lambda$  の関数：

「 $\Delta \equiv f(\lambda) = \lambda (n^2 - n_{eq}^2)^{-1/2} / 2$ 」の関数値  $\Delta$

よりも薄くなる位置まで、

前記共振器の少なくとも真下に位置する前記結晶成長基板と前記半導体層を、前記結晶成長基板の裏面側から削除することにより、前記共振器の下方に凹部が形成されている

ことを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 2】

前記凹部内に露出した前記 n 型コンタクト層の底面に、n 型クラッド層よりも屈折率の小さい誘電体膜が積層されている

ことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ。

【請求項 3】

少なくとも前記凹部内の一部分又は全部に金属層又は金属部を有することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の半導体レーザ。

【請求項 4】

前記金属層又は前記金属部で負電極を形成したことを特徴とする請求項 3 に記載の半導体レーザ。

【請求項 5】

前記複数の半導体層の上層側からのエッチング処理により上方に露出された前記 n 型コンタクト層の露出面上に負電極を有し、

前記 n 型コンタクト層と前記結晶成長基板との間に p 型又は不純物無添加の I II 族窒化物系化合物から成る半導体層を有する

ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 の何れか 1 項に記載の半導体レーザ。

【請求項 6】

前記共振器の真下に位置する前記 n 型コンタクト層の膜厚  $\delta$  を  $\Lambda/5$  以上、 $\Lambda$  未満に設定した

ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 の何れか 1 項に記載の半導体レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、結晶成長基板上に複数の半導体層を積層することにより共振器等が形成される端面発光型の半導体レーザに関する。本発明は、出力光（ビーム）のファーフールドパターン（FFP）が整った収斂性の高い出力特性を有する半導体レーザを得るためのものである。

したがって、本発明に基づいて製造される半導体レーザは、例えば、情報入出力処理装置、情報演算処理装置、情報伝達装置、或いはレーザビーム照射を用いた加工処理装置等の分野で極めて有用である。

【0002】

【従来の技術】

【非特許文献 1】

シャープ技報（SHARP Technical Journal）No. 9，通巻 77 号，

「青紫色リッジ導波路型半導体レーザの発振モード」

【特許文献 1】

特開平 10-308560 号公報

【0003】

上記の非特許文献 1 にも記載されている様に、半導体レーザの問題として、導波光の光軸に対して垂直な方向にサブピークが現れ、ファーフールドパターン

(FFP) が乱れる現象がある。

図7に、このFFPが乱れる現象を説明する半導体レーザの断面図を例示する。この様なFFPが乱れる現象は、n型コンタクト層を副導波路として漏れ出す光により引き起こされる。この様な乱れの原因となる光は、上記の非特許文献1にも記載されている様に、n型コンタクト層内で干渉縞を形成して、主導波路（活性層+ガイド層）から出力される光と共に外部に放出される。

上記の非特許文献1に記載されている従来技術は、このFFPの乱れを、n型クラッド層の膜厚を最低でも $0.8\mu\text{m}$ 以上とすることで抑制しようとするものである。

#### 【0004】

また、上記の特許文献1は、半導体発光素子の結晶成長基板の裏面側の凹部構造や、外部量子効率、素子の耐久性、素子の生産性等に言及したものであり、これらの各側面における一応の有効性は認められる。しかし、この特許文献1は、例えば上記の非特許文献1の様には、特定の半導体層の膜厚に関する適正範囲等を具体的に開示する等しておらず、よって、上記の特許文献1は、半導体レーザのn型コンタクト層を中心としたFFPの乱れを排除する手段や方法等に関して、具体的或いは効果的な技術を何ら示唆したものではない。即ち、この特許文献1から我々は、半導体レーザのFFPの乱れを排除するための有効かつ具体的な手段や方法を何ら知ることができない。

#### 【0005】

##### 【発明が解決しようとする課題】

したがって、上記の特許文献1に開示されている半導体レーザをそのまま試作して見たところで、FFPの乱れない半導体レーザが得られる保証は全くなく、その様な試作からFFPが乱れずに、安定して発振する半導体レーザを得ることは極めて困難である。

例えば、共振器下方のコンタクト層を削除しなければ、その部位（コンタクト層）から光が漏れ出てしまうので、効率よく安定したレーザ発振を望むことはできなくなる。また、共振器下方のコンタクト層を削除した場合には、共振器と負電極との電氣的な接続が良好にならず、良好な電流密度分布を形成することが困

難となる。したがって、この場合にも効率よく安定したレーザ発振を望むことはできなくなる。

#### 【0006】

他方、上記の非特許文献1に記載されている様に、n型クラッド層の膜厚を最低でも $0.8\mu\text{m}$ 以上に設定することで、FFPの乱れはある程度抑制することができる。

しかしながら、この方法によれば、活性層、光ガイド層、n型クラッド層等の各半導体層の組成等にも依るが少なくとも $0.8\sim 1\mu\text{m}$ 以上の膜厚でn型クラッド層を積層しない限り、n型コンタクト層の干渉縞（FFPの乱れ）に対する十分な抑制効果が得られない。このため、非特許文献1の従来技術は、n型クラッド層の結晶成長工程に関する生産性が低いと言わざるを得ない。

#### 【0007】

また、非特許文献1の従来技術では、n型クラッド層の膜厚の増大に応じて干渉縞のピーク強度が弱まっていくと言う至極当然の方式を採用しているため、この方式に基づいてn型コンタクト層から漏れる光によって作られる干渉縞のピーク強度を弱めることはできても、この方式に基づいて干渉縞を完全に消失させることはできない。

また、共振器を中心とする放熱効果や或いは内部量子効率（閾値電圧）等の観点から言っても、n型クラッド層の膜厚を上記の様に厚くすることは、半導体レーザの構成上必ずしも得策とは言い難い。

#### 【0008】

また、その他の光閉じ込め手法としては、例えば、n型のGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nから成る上記のn型クラッド層をn型のAl<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N層に変更して積層する方法等が考えられる。この様な方法によれば、Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nは相対的に屈折率が小さいため、共振器内部への光の閉じ込め効果は得られると思われる。

しかしながら、この様な方法では、格子定数差に基づく半導体層間の内部応力の問題が派生するため厚膜の形成が非常に困難であり、事実上半導体レーザの製造を実施することはできない。

#### 【0009】

また、上記の n 型クラッド層にその他の不純物を添加して、この n 型クラッド層の屈折率を低く抑制する手法も考えられるが、屈折率が大幅に変化する程の量の不純物を添加した場合、この n 型クラッド層やそれ以降に積層される半導体層の結晶性の劣化が顕著となる。したがって、この様な手法によっても、事実上半導体レーザの製造を実施することはできない。

#### 【0010】

本発明は、上記の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、安定して発振する半導体レーザにおいて、従来よりも効果的に n 型コンタクト層から漏れ出る光の干渉縞（F F P の乱れ）を抑制することである。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段、並びに、作用及び発明の効果】

上記の課題を解決するためには、以下の手段が有効である。

即ち、本発明の第 1 の手段は、結晶成長基板上に複数の半導体層を積層することにより共振器等が形成される端面発光型の半導体レーザにおいて、活性層の発光波長  $\lambda$  と、発光波長  $\lambda$  に依存する n 型コンタクト層の屈折率  $n$  と、発光波長  $\lambda$  に依存する n 型コンタクト層の導波モードの等価屈折率  $n_{eq}$  とを用いて表現される発光波長  $\lambda$  の関数： $\Lambda \equiv f(\lambda) = \lambda (n^2 - n_{eq}^2)^{-1/2} / 2$  の関数値  $\Lambda$  よりも、n 型コンタクト層の膜厚が薄くなる位置まで、共振器の少なくとも真下に位置する結晶成長基板と半導体層を、結晶成長基板の裏面側から削除することにより、共振器の下方に凹部を形成することである。

#### 【0012】

ただし、n 型コンタクト層の膜厚が、最初から上記の  $\Lambda$  未満の厚さであった場合には、結晶成長基板の裏面側から n 型コンタクト層の底面（結晶成長開始面）が露出するまで結晶成長基板等を削除すれば十分である。ただし、n 型コンタクト層やそれより後から（よって、それより上方に）積層される各半導体層の結晶性を良好或いは十分に確保するためには、通常、n 型コンタクト層の膜厚は、少なくとも上記の  $\Lambda$  以上の厚さに一旦は積層することが望ましい。

#### 【0013】

また、上記の本発明の第 1 の手段では、共振器の少なくとも真下の領域におい



て、上記の n 型コンタクト層は全部を削ることなく、必ず一部分を残しておくものとする。即ち、上記の n 型コンタクト層の残される部位の膜厚を  $\delta$  と記せば、 $0 < \delta < \Lambda$  とすべきである。

また、共振器の下方に形成される上記の凹部内には、そのまま空気を配置しておいても良いし、真空にしておいても良いし、或いは、使用される各半導体層よりも屈折率の低い透明な絶縁材料や不活性ガス等を充填しておいても良い。

#### 【0014】

また、上記において結晶成長基板上に複数の半導体層を積層する際には、これらの半導体層として、III 族窒化物系化合物半導体を用いることができる。ただし、ここで言う「III 族窒化物系化合物半導体」一般には、2 元、3 元、又は 4 元の「 $Al_{1-x-y}Ga_yIn_xN$ ;  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq 1-x-y \leq 1$ 」成る一般式で表される任意の混晶比の半導体が含まれ、更に、p 型或いは n 型の不純物が添加された半導体もまた、これらの「III 族窒化物系化合物半導体」の範疇である。

また、上記の III 族元素 (Al, Ga, In) の内の少なくとも一部をボロン (B) やタリウム (Tl) 等で置換したり、或いは、窒素 (N) の少なくとも一部をリン (P)、砒素 (As)、アンチモン (Sb)、ビスマス (Bi) 等で置換したりした半導体等をもまた、これらの「III 族窒化物系化合物半導体」の範疇とする。

#### 【0015】

また、上記の p 型の不純物としては、例えば、マグネシウム (Mg) や、或いはカルシウム (Ca) 等を添加することができる。

また、上記の n 型の不純物としては、例えば、シリコン (Si) や、硫黄 (S)、セレン (Se)、テルル (Te)、或いはゲルマニウム (Ge) 等を添加することができる。

また、これらの不純物は、同時に 2 元素以上を添加しても良いし、同時に両型 (p 型と n 型) を添加しても良い。

#### 【0016】

n 型コンタクト層に干渉縞が複数発現した時のそれらの縞の間隔 (空間的周期



)は、非特許文献1からも判る様に、上記の関数値 $\Lambda$ に一致する。したがって、 $n$ 型コンタクト層の膜厚をこの関数値 $\Lambda$ 未満に設定しておけば、 $n$ 型コンタクト層に干渉縞（のピーク）が発現することはない。

また、共振器の下方に形成される凹部は、使用される各半導体層よりも屈折率が低くなるため出力される光は共振器側に効果的に閉じ込められる。このため、本発明に基づいて製造される半導体レーザは、効率よく発振するのでレーザ出力が安定する。

#### 【0017】

また、共振器の真下に位置する $n$ 型コンタクト層を全部削ってしまうと電流密度分布に偏りが生じて、共振器に効率よく電流を供給することができなくなるが、本発明では、少なくとも共振器の真下に位置する $n$ 型コンタクト層は、必ず一部分を残しておくので、共振器直下においても負電極とのコンタクトが良好に確保でき、よって、共振器内及び共振器周辺の電流の密度分布が理想的な状態に維持できる。

#### 【0018】

したがって、本発明によれば、理想的な電流密度分布や効果的な光の閉じ込め作用に基づいて安定して発振する半導体レーザが製造できると共に、従来よりも効果的に $n$ 型コンタクト層の干渉縞（FFPの乱れ）に対する十分な抑制効果を得ることができる。この様な半導体レーザの構造は、上下方向のFFPが乱れないため、レーザビームの照射位置（照射領域）を正確に制御するのに都合が良く、収斂性の良好なスポットサイズの小さな半導体レーザを実現する上で非常に有用である。

したがって、本発明に基づいて製造される半導体レーザは、例えば、情報入出力処理装置、情報演算処理装置、情報伝達装置、或いはレーザビーム照射を実行する熱加工処理装置（レーザビーム照射装置）等の分野で極めて有用となる。

#### 【0019】

また、本発明の第2の手段は、上記の第1の手段において、上記の凹部内に露出した $n$ 型コンタクト層の底面に、 $n$ 型クラッド層よりも屈折率の小さい誘電体膜を積層することである。

## 【0020】

例えば、複数の誘電体層を、活性層側から結晶成長基板側に向う向きに沿って屈折率が単調に減少する様に順次積層しても良い。或いは、その向きに連続的に屈折率が単調に減少する様な単一層の誘電体膜を形成しても良い。これらの場合には、誘電体膜で光を活性層側に戻す導波路を形成することができる。勿論、上記の誘電体膜は、屈折率が略均一の単一層で構成しても良い。

この様な構成に従えば、上記の共振器における光の閉じ込め効果が補強されるため、レーザの発光効率を高くすることができる。

## 【0021】

この様な反射膜の材料として用いることができる誘電体としては、例えば  $\text{SiO}_2$  や  $\text{TiO}_2$  等をあげることができるが、勿論一般にはこれらの誘電体材料に限定されるものではない。その他にも、例えば、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 等の半導体層から反射膜を形成しても良い。 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  の屈折率は、アルミニウム組成比  $x$  の単調減少関数であるので、この組成比  $x$  を上記の誘電体層の屈折率を段階的若しくは連続的に変化させる調整パラメータとすることもできる。例えば、上記の凹部内に露出した  $n$  型コンタクト層の底面に、活性層側から結晶成長基板側に向う向きに沿って屈折率が単調に減少する様に、即ち、その向きに沿ってアルミニウム組成比  $x$  が単調に増加する様に、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  から成る単一の半導体層を連続的に形成しても良い。勿論、アルミニウム組成比  $x$  を段階的に増加させることにより、多層膜を形成しても良い。

## 【0022】

これらの誘電体材料を用いれば、例えば空気や金属等の他の材料に比べて光の吸収や透過が効果的に抑制できるため、エネルギー効率の高い光導波路を形成することができる。

## 【0023】

また、第3の手段は、上記の第1又は第2の手段において、少なくとも凹部内の一部分又は全部に金属層又は金属部を設けることである。

この様な金属層や金属部は、共振器で発生する熱を効率よくヒートシンク等の外部・周辺に伝導するので、半導体レーザの安定した発振動作に大いに寄与する

。これらの意味で、上記の金属層や金属部は例えば銅 (Cu) や金 (Au) 等の熱伝導性の高いものが望ましい。勿論、複数の金属から成る合金でも良い。或いは、これらの金属層や金属部は、異種金属から成る多層構造にしても良い。

#### 【0024】

また、上記の金属層や金属部は、光反射面を形成するので共振器内部の光閉じ込め効果にも寄与する。この意味で、上記の金属層や金属部は例えばアルミニウム (Al)、ロジウム (Rh)、銀 (Ag)、金 (Au) 等の所望の発光波長  $\lambda$  に対する反射率の高いものが望ましい。或いは、例えばプラチナ (Pt) 等の耐蝕性の高い金属を適当量混ぜた合金を使用しても良い。

上記の金属層や金属部は、これらの各種の条件を十分に勘案して適当なものを選択すれば良い。勿論、複数の金属から成る合金でも良い。或いは、これらの金属層や金属部は、異種金属から成る多層構造にしても良い。

#### 【0025】

また、第4の手段は、上記の第3の手段において、上記の金属層又は金属部で負電極を形成することである。

この様な構成に従えば、凹部内に露出した n 型コンタクト層の露出面上に接続された上記の金属層又は金属部に配線等を接続するだけで、負電極が実現できる。したがって、この様な構成に従えば、複数の半導体層の上層側から n 型コンタクト層にまで至るエッチング処理により n 型コンタクト層を上方に露出させたり、この n 型コンタクト層の露出面上に負電極 (他の金属層又は金属部) を別途設けたりする必要がなくなる。負電極を構成するこの様な金属層や金属部は、半導体に対するオーミック特性の優れたものが望ましい。

したがって、上記の金属層や金属部には、以上の各種の条件を十分に勘案して適当な金属を選択すれば良い。勿論、複数の金属から成る合金でも良い。或いは、これらの金属層や金属部は、異種金属から成る多層構造にしても良い。

#### 【0026】

また、上記の様に金属層又は金属部で負電極を形成すれば、半導体ウエハを製造する際に正電極とは反対の側の面に負電極を形成することができるため、1枚の半導体ウエハから取り出すことができる半導体レーザのチップ数を、半導体層

積層側（結晶成長側）に両電極を共に形成する場合よりも増大させることができる。

したがって、上記の手段によれば、干渉縞（FFPの乱れ）に対する十分な抑制効果を備えた半導体レーザの生産性を大幅に向上させることができる。

#### 【0027】

また、第5の手段は、上記の第1乃至第3の何れか1つの手段において、複数の半導体層の上層側からのエッチング処理により上方に露出されたn型コンタクト層の露出面上に負電極を設け、更に、n型コンタクト層と結晶成長基板との間にp型又は不純物無添加のIII族窒化物系化合物から成る半導体層を設けることである。

#### 【0028】

不純物無添加のIII族窒化物系化合物から成る半導体層（例：GaN層）をn型コンタクト層と結晶成長基板との間に設ければ、基板側への電流成分が抑制されるので、電流注入効率が向上する。

また、p型のIII族窒化物系化合物から成る半導体層（例：GaN層）をn型コンタクト層と結晶成長基板との間に設ければ、この部位に発光作用や受光作用を持たないpnp接合のダイオードの様な構造が形成されるため、電流リークが妨げられて素子の耐圧性が向上する。

この様な構成は、n型のシリコン（Si）等の導電性基板を用いた場合等に特に有効であるが、例えば不純物無添加シリコン（Si）やサファイア基板等のその他一般の結晶成長基板を用いた場合等においても十分な効果を奏する。

#### 【0029】

また、第6の手段は、上記の第1乃至第5の何れか1つの手段において、共振器の真下に位置するn型コンタクト層の膜厚 $\delta$ を $\Lambda/5$ 以上、 $\Lambda$ 未満に設定することである。この様な設定により、本来のn型コンタクト層の機能を損なわずに、負電極とのコンタクトを十分良好に保ったまま、上記の作用効果を確実に引き出すことができる。共振器の真下に位置するn型コンタクト層の膜厚 $\delta$ は、その設定精度（加工精度）等にも依るが、負電極とのコンタクトを十分良好に保ったまま上記の作用効果を確実に引き出すために、例えば青紫色発光レーザの場合更



に理想的には、n型コンタクト層の膜厚 $\delta$ は、概ね $\Lambda/3 \leq \delta \leq 2\Lambda/3$ なる範囲に納めることがより望ましい。

負電極とのコンタクトを十分良好に保つことが可能となる上記の膜厚 $\delta$ の適当な下限値は、例えば共振器のストライプ幅等の各部の寸法やレーザの構造等にも依るが、概ね $0.2\mu\text{m}$ 程度と思われる。

#### 【0030】

共振器の真下に位置するn型コンタクト層の膜厚 $\delta$ の値が大き過ぎると、出力されるFFPの中に干涉縞のピーク付近が発現して望ましくない。この干涉縞の発現は、膜厚 $\delta$ の値を小さくするほど抑制される。しかし、この膜厚 $\delta$ の値が小さ過ぎると、負電極側のコンタクトが良好には確保し難く、よって、電流密度分布を理想的な状態にし難くなり、これらの結果、内部量子効率が低下する等して望ましくない。

以上の本発明の手段により、前記の課題を効果的、或いは合理的に解決することができる。

#### 【0031】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。ただし、本発明は以下に示す実施例に限定されるものではない。

##### 〔第1実施例〕

図1は、本発明の第1実施例の半導体レーザ100 $\alpha$ の断面図である。

サファイアから成る結晶成長基板101の上には、窒化アルミニウム (AlN) から成るバッファ層109 $\alpha$ が積層されている。更にその上には、シリコン (Si) ドープのGaN から成る高キャリア濃度のn型コンタクト層102と、GaN から成るn型クラッド層103とが順次積層されている。

#### 【0032】

更にその上には、活性層とその上下両側に位置する各型の光ガイド層から成る発光出力部104が形成されている。より具体的には、この発光出力部104は、 $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ より成るn型の光ガイド層と、公知の端面発光型レーザダイオードに見られる一般的な多重量子井戸 (MQW) 構造の活性層と、マグネシウム

(Mg) ドープの  $\text{Al}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$  から成る p 型の光ガイド層とを順次積層することにより形成されたものである。

#### 【0033】

この発光出力部 104 の上には、p 型の  $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$  から成る p 型クラッド層と、Mg ドープの p 型の GaN から成る p 型コンタクト層の計 2 層が順次積層されて形成された p 型半導体層 105 が形成されている。

#### 【0034】

n 型コンタクト層 102 は、上方 (p 型半導体層 105 側) からのエッチングによりその大部分が露出され、本エッチングにより、基板に対して略垂直に立脚した平頂な共振器部分が形成される。また、この共振器の両脇には、屈折率が約 1.4 の  $\text{SiO}_2$  より成る絶縁性保護膜 110 がスパッタリングにより形成されている。

#### 【0035】

また、結晶成長基板 101 の裏面の凹部 D はエッチング処理により形成したものであり、符号  $\delta$  はこの凹部 D における n 型コンタクト層 102 の残存膜厚を表している。

n 型コンタクト層 102 の屈折率  $n$ 、n 型コンタクト層 102 の導波モードの等価屈折率  $n_{eq}$  の各値は、発光出力部 104 から放出される光の発光波長  $\lambda$  に依存する。これらの発光波長  $\lambda$ 、屈折率  $n$ 、等価屈折率  $n_{eq}$  の各値は、次式 (1) ~ (3) の通りである。

#### 【数 1】

$$\lambda = 405 \text{ [nm]} \quad (\text{青紫色}) \quad \dots (1)$$

#### 【数 2】

$$n = 2.525 \quad \dots (2)$$

#### 【数 3】

$$n_{eq} = 2.502 \quad \dots (3)$$

#### 【0036】

また、発光波長  $\lambda$  の関数  $f(\lambda)$  の関数値  $\Delta$  と、結晶成長基板裏面の凹部 D における n 型コンタクト層の残存膜厚  $\delta$  の各値は、それぞれ次式 (4)、(5) に

より表される。

【数4】

$$\begin{aligned}\Lambda &\equiv f(\lambda) = \lambda (n^2 - n_{eq}^2)^{-1/2} / 2 \\ &= 596 \text{ [nm]} \quad \dots (4)\end{aligned}$$

【数5】

$$\delta = 0.30 \text{ [\mu m]} \div \Lambda / 2 \quad \dots (5)$$

【0037】

共振器の真下に位置するn型コンタクト層を全部削ってしまうと電流密度分布に偏りが生じて、共振器に効率よく電流を供給することができなくなるが、例えば本実施例の様に、少なくとも共振器の真下に位置するn型コンタクト層については、必ずその一部分を残しておく様にとすると良い。この構成に従えば、共振器直下においても負電極とのコンタクトが良好に確保できるので、共振器内及び共振器周辺の電流の密度分布が理想的な状態に維持できる。

【0038】

したがって、上記の様な構成によれば、理想的な電流密度分布や効果的な光の閉じ込め作用に基づいて安定して発振する半導体レーザが製造できると共に、従来よりも効果的にn型コンタクト層の干渉縞（FFPの乱れ）に対する十分な抑制効果を得ることができる。

この様な半導体レーザの構造は、上下方向のFFPが乱れないため、レーザビームの照射位置（照射領域）を正確に制御するのに都合が良く、収斂性の良好なスポットサイズの小さな半導体レーザを実現する上で非常に有用である。

【0039】

尚、光閉じ込め効果、結晶性の確保、半導体結晶の生産性等を総じて考慮すれば、n型コンタクト層102の上に積層するn型クラッド層103の膜厚の適正範囲は、0.1～2.0 μm程度であると考えられる。中でも特に0.4～0.8 μm程度の範囲では、n型クラッド層103の形成工程における半導体結晶の生産性を従来以上に改善した上で、更に従来よりもFFPの綺麗な収斂性の高い半導体レーザを製造することができる。

【0040】



また、結晶成長基板 101 には、上記のサファイアの他にも、シリコン、炭化シリコン、窒化ガリウム等の公知の結晶成長基板材料を用いることができる。例えば、ノンドープの窒化ガリウム (GaN) から成るバルク基板を結晶成長基板として用いれば、良質の半導体結晶を容易に得ることができ、バッファ層 109 $\alpha$ 等を成膜しなくて良い等の利点も得られる。

#### 【0041】

以下、上記の本第1実施例の半導体レーザ 100 $\alpha$  (図1) のその他の部分についても、安定したレーザ発振に寄与する各部の構造や特徴的な作用等について開示しておく。

(1) 例えば、半導体結晶に形成する電極の構成としては、共振器の平頂部 (p型半導体層 105) の上には、ニッケル (Ni) を主成分とする例えばニッケル (Ni) と金 (Au) との合金等より成る正電極 106A が、蒸着により成膜されている。また、n型コンタクト層 102 の露出部には、アルミニウム (Al) を主成分とする例えばアルミニウム (Al) とバナジウム (V) との合金等より成る負電極 106B が、チップの表側からの蒸着処理により成膜されている。

#### 【0042】

(2) また、絶縁性保護膜 110 で共振器を左右両側から挟む構造を採用することにより、共振器の水平方向の幅 (厚さ)、特に発光出力部 104、p型半導体層 105 の幅を 1 ~ 3  $\mu$ m 程度と非常に細くすることができるので、これらの構成により、高い電流狭窄効果が得られる。また、共振器の幅を細くした上で、活性層の両脇を屈折率の低い絶縁材料 (絶縁性保護膜 110) で埋め込んだことにより、活性層から出力される光の横方向の閉じ込めが効果的に実施できる。

#### 【0043】

(3) また、共振器の平頂部に形成される正電極 106A は、絶縁性保護膜 110 の上にも形成され、正電極 106A の成膜面積が広がったため、正電極 106A が共振器平頂部より局所的に剥離することがなくなった。即ち、正電極 106A は、この平頂部に一様に密着して成膜された状態を安定して維持できる。

#### 【0044】

(4) また、発光出力部 104 及びその周辺で発生した熱は、共振器平頂部のみ

を放熱経路（熱伝導経路）とするにとどまらず、絶縁性保護膜 110 及び絶縁性保護膜 110 上に成膜された正電極 106A を介して、図略のヒートシンク側に放熱することができる。ただし、ヒートシンクは、不都合な短絡（ショート）が発生しない構成を取れば、勿論、任意の部位に外付けすることができる。

例えば、正電極 106A の大面積を利用して、この露出面の大部分に接触させる様にヒートシンクを配置する等の構成が考えられる。

#### 【0045】

(5) また、半導体レーザ 100 $\alpha$  では、共振器の裾（下部）が太くなっている。即ち、エッチング処理により残された n 型クラッド層 103 と n 型コンタクト層 102 が、共振器を下方両脇より支持する構造になっている。これにより、共振器の物理的な強度が補強されるため、共振器の平頂部のストライプ幅を細く形成することが容易となる。また、絶縁性保護膜 110 が共振器を支えているため、凹部 D の形成も容易或いは確実と成る。また、共振器の平頂部の一部にまで絶縁性保護膜 110 が拡張されて成膜されている。

これらの構成によっても、光の閉じ込め効果や電流狭窄効果の高い構造を容易に得ることができる。

#### 【0046】

(6) また、絶縁性保護膜 110 の一部が負電極 106B の上にまで拡張して積層されており、この絶縁性保護膜 110 の拡張部分を介して、正電極 106A の拡張部位と負電極 106B とが重ねて積層されている。この構造により、正電極 106A か負電極 106B の何方か一方の電極に放熱経路が集中する等の不都合がない。言い換えれば、正負両電極間等の各部間の熱伝導効率が高まり、各部間の温度差が低減されるため、高い放熱効果が得られる。

#### 【0047】

以上の (1) ~ (6) 等の作用によっても、半導体レーザ 100 $\alpha$  の発振しきい値をより効果的に抑止することができる。

例えば以上の様に本発明に基づいて半導体レーザを構成すれば、駆動電圧が効果的に抑制された、継続的に安定して発振する収斂性の良い半導体レーザを実現することができる。

## 【0048】

## 〔第2実施例〕

図2は、本第2実施例の半導体レーザ201の断面図である。この半導体レーザ201のn型コンタクト層102、n型クラッド層103、発光出力部104、p型半導体層105、絶縁性保護膜110、正電極106Aの各部に関する材料（組成や物性）及び、共振器略中央における各層の積層構成（積層順序や膜厚）等は、前述の第1実施例の半導体レーザ100 $\alpha$ とそれぞれ略同等である。

また、エッチング処理後の凹部Dにおけるn型コンタクト層102の残存膜厚 $\delta$ に付いても、前述の式（4）、式（5）の手法に準拠して設定されている。

## 【0049】

この半導体レーザ201の構成は、第1実施例の半導体レーザ100 $\alpha$ の構成と共通点が多いが、この半導体レーザ201（図2）のその他の主な特徴は次の通りである。

- （1）p型半導体層105の断面形状を略台形にエッチング処理することにより、リッジが形成されている。
- （2）結晶成長基板101aの材料としては、p型又はノンドープのGaNからなるバルク結晶が採用されている。
- （3）上記の凹部Dには、アルミニウム（Al）を主成分とする金属が蒸着処理により充填されており、この金属部により、光反射部と負電極106Cとが同時に形成されている。

## 【0050】

例えば、以上の様に半導体レーザ201を形成することにより、n型コンタクト層102と金属部（負電極106C）との境界面から成る光反射面で光が発光出力部104の方に反射されるため、良好な光閉じ込め効果を得ることができる。また、結晶成長基板101aにp型又はノンドープのGaNを用いることで、電流は結晶成長基板101aを通らないため理想的な電流狭窄が実現できる。

## 【0051】

また、p型又はノンドープの窒化ガリウム（GaN）から成るバルク基板を結晶成長基板として用いているため、前述のバッファ層109 $\alpha$ 等を成膜しなくて

良い。

例えば、以上の様な構成によっても、安定して効率よく連続発振する FFP の綺麗な収斂性の高い半導体レーザを製造することができる。

#### 【0052】

##### 〔第3実施例〕

図3は、本第3実施例の半導体レーザ202の断面図である。本半導体レーザ202は、上記の第2実施例の半導体レーザ201と略同等の構造を有するが、凹部D内に露出したn型コンタクト層102の底面に、SiドープのGaNから成るn型クラッド層103よりも屈折率の小さい誘電体多層膜107が積層されている点が大きな特徴と成っている。

#### 【0053】

この誘電体多層膜107は、多層構造を有し、n型コンタクト層102に対する基板裏側からのエッチング処理完了後、n型コンタクト層102の露出面に半導体結晶を8層順次成長させて積層したものである。従って、誘電体多層膜107を構成する計8層の半導体層は、他の半導体層102、103、104、105等とは積層順序や結晶成長方向が逆向き（下向き）になっている。

#### 【0054】

上記の計8層の半導体層は、 $Al_x Ga_{1-x} N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) を結晶成長により積層したもので、n型コンタクト層102の底面（露出面）側から順に、順次以下のアルミニウム組成比  $x_m$  ( $m=1, 2, 3, \dots, 8$ ) を有する層を成膜したものである。

#### 【数6】

$$x_1 = 0.13,$$

$$x_2 = 0.25,$$

$$x_3 = 0.38,$$

$$x_4 = 0.50,$$

$$x_5 = 0.63,$$

$$x_6 = 0.75,$$

$$x_7 = 0.88,$$

$$x_8 = 1.00 \quad \dots (6)$$

これらの半導体結晶  $Al_x Ga_{1-x} N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) は、電流密度分布を理想的に確保するために、例えば Si 等を添加することにより n 型の半導体にしておくことが望ましい。

#### 【0055】

以上の様な構成に従えば、金属製の光反射面で光が吸収される恐れが少なくなり、エネルギー効率の高い光閉じ込め効果を得ることができる。勿論、金属部での光反射作用も同時に得ることができる。

例えば、この様な構成によっても、安定して効率よく連続発振する FFP の綺麗な収斂性の高い半導体レーザを製造することができる。

#### 【0056】

##### 〔第4実施例〕

図4は、本第4実施例の半導体レーザ203の断面図である。本半導体レーザ203は、上記の第2実施例の半導体レーザ202と略同等の構造を有するが、誘電体多層膜107'を構成する計16層の半導体層は、 $Al_x Ga_{1-x} N$  ( $0 < x \leq 1$ ) を結晶成長により積層したもので、n型コンタクト層102の底面(露出面)側から順に、順次以下のアルミニウム組成比  $x_m$  を有する層を成膜したものである。

##### 【数7】

$$x_m = m / 16 \quad (m = 1, 2, 3, \dots, 16) \quad \dots (7)$$

#### 【0057】

誘電体多層膜107'を構成する各半導体層は、例えば Si 等の n 型作成用の添加物を高濃度に添加することにより n 型の半導体結晶とし、結晶成長基板101aは、不純物無添加の GaN か或いは p 型の GaN 等から形成することが、電流密度分布を理想的に形成する上で望ましい。勿論、この場合にも、負電極106Cは電極として使用する。

#### 【0058】

尚、上記の結晶成長基板101a及び誘電体多層膜107'には、電流が流れない様にしても良い。この様な場合には、図1の半導体レーザ100αの場合と

⑤

同様に、半導体ウエハの表側（上側）に負電極を形成すれば、レーザ発振をさせることができる。この場合、上記の負電極 106C は、電極としては作用しないが、上記の場合と同様に放熱のための効果的な熱伝導作用や、誘電体多層膜 107' から僅かに漏れ出す光に対する反射作用等を奏する。

このような構成を実現する際、上記の結晶成長基板 101a は、例えばサファイアや不純物無添加の GaN や p 型の GaN 等から形成することができる。この場合、勿論、誘電体多層膜 107' に付いても、同様に不純物無添加又は p 型の半導体層を用いれば良い。

#### 【0059】

##### 〔第5実施例〕

図5は、本発明の第5実施例の半導体レーザ 100β の断面図である。この半導体レーザ 100β は、前述の第1実施例の半導体レーザ 100α を部分的に改造したものである。本半導体レーザ 100β の半導体レーザ 100α との相違点は、以下の通りである。

#### 【0060】

(1) サファイア基板 101 の上には、半導体層 109β が結晶成長により積層されている。この半導体層 109β は、2層構造を有し、下から順に AlN から成るバッファ層と p 型の GaN 層とを順次結晶成長させることにより形成されている。

(2) スパッタリングにより、SiO<sub>2</sub> から成る単一層の誘電体層 107β が共振器の下方の凹部 D に形成されている。この単一層の誘電体層 107β はその他の例えば TiO<sub>2</sub> 等の誘電体材料から形成しても良い。

(3) 更に、この凹部 D には、アルミニウム (Al) が蒸着処理により充填されている。これにより、放熱用金属層 108 が形成されている。

#### 【0061】

2層構造の半導体層 109β には、p 型の GaN 層が含まれているので、放熱用金属層 108 と n 型コンタクト層 102 との間は十分に絶縁される。また、上記の構成において、誘電体層 107β の屈折率は低く確保されているため、光閉じ込め作用が効果的に達成されている。即ち、誘電体層 107β は効果的に光導

波路を構成している。また、放熱用金属層 108 は、良好に熱伝導作用（放熱作用）を果たしている。

#### 【0062】

図 6 は、この半導体レーザ 100  $\beta$  のマウント状態を説明する断面図である。リードフレーム 50 は、ヒートシンクを兼ねたメタルステム 53 と、メタルポスト 51 を有する。ポスト側金線 57 とメタルステム側金線 58 は、共に金（Au）から成り、それぞれ半導体レーザ 100  $\beta$  の正負各電極をリードフレーム 50 の各部（57, 58）に電氣的に接続している。

#### 【0063】

通常、半導体レーザを製造する際には、サブマウントやヒートシンクの材料として、高い絶縁性と高い熱伝導性とを兼ね備えたダイヤモンド等を用いるケースも少なくない。しかしながら、上記の図 5 の半導体積層構成においては、放熱用金属層 108 と n 型コンタクト層 102 との間は十分に絶縁されており、ここに高い耐電圧性が確保されているため、図 5 のサブマウント 52 やヒートシンク（メタルステム 53）等は共に、電気伝導性と熱伝導性が共に高く且つ価格の安い例えば銅（Cu）等から形成することができる。

即ち、上記の図 5 の様な半導体積層構成に従えば、例えば図 6 に例示される様に、半導体レーザの製造コストの削減と耐電圧性の向上等を同時に効果的に達成することが可能又は容易となる場合がある。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

本発明の第 1 実施例に係わる半導体レーザ 100  $\alpha$  の断面図。

##### 【図 2】

本発明の第 2 実施例に係わる半導体レーザ 201 の断面図。

##### 【図 3】

本発明の第 3 実施例に係わる半導体レーザ 202 の断面図。

##### 【図 4】

本発明の第 4 実施例に係わる半導体レーザ 203 の断面図。

##### 【図 5】

本発明の第5実施例に係わる半導体レーザ100 $\beta$ の断面図。

【図6】

半導体レーザ100 $\beta$ のマウント状態を説明する断面図。

【図7】

FFPが乱れる現象を説明する半導体レーザの断面図。

【符号の説明】

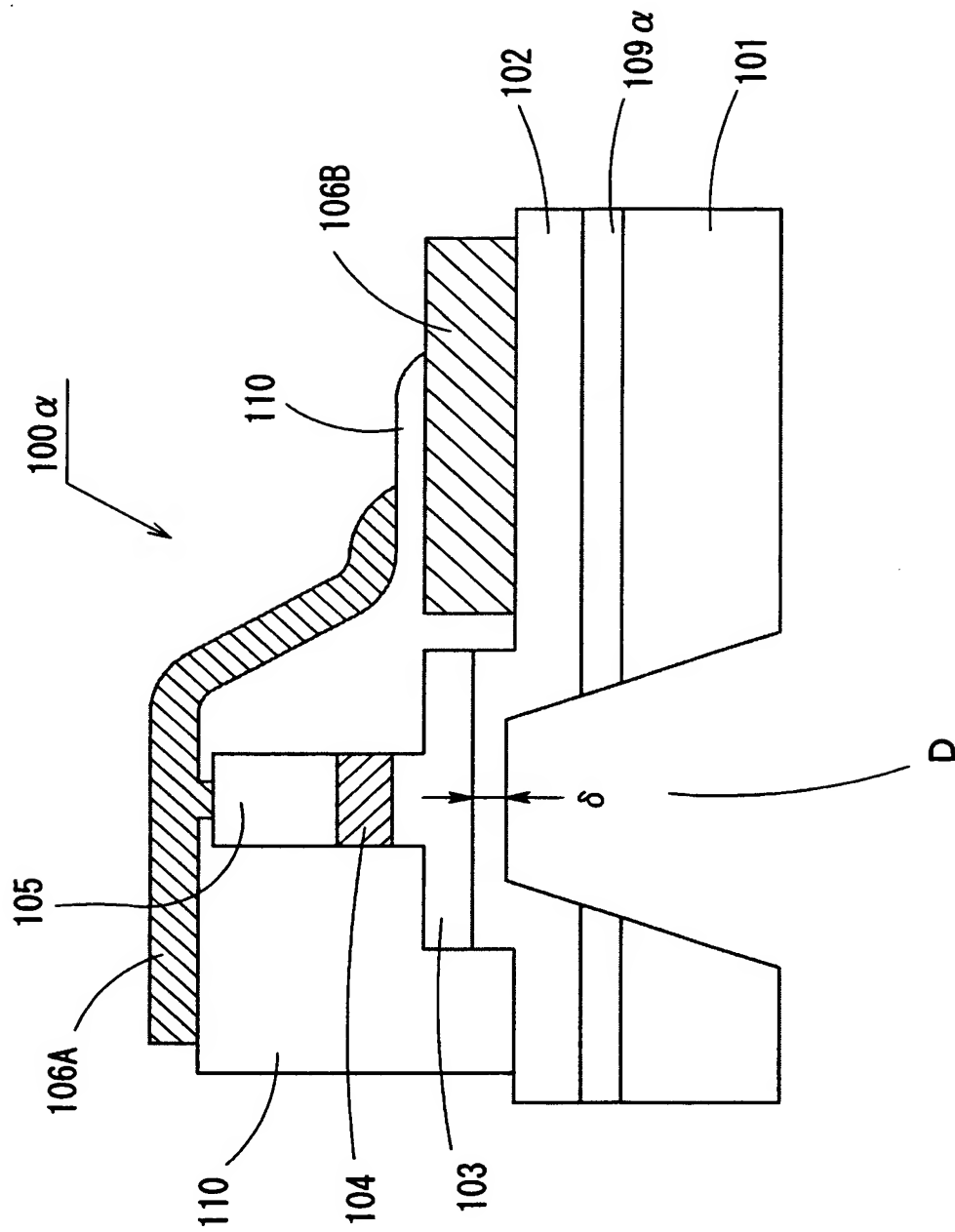
- 100 $\alpha$  … 半導体レーザ（第1実施例）
- 201 … 半導体レーザ（第2実施例）
- 202 … 半導体レーザ（第3実施例）
- 203 … 半導体レーザ（第4実施例）
- 100 $\beta$  … 半導体レーザ（第5実施例）
- 101,
- 101a … 結晶成長基板
- 102 … n型コンタクト層
- 103 … n型クラッド層
- 104 … 発光出力部（活性層及び光ガイド層）
- 105 … p型半導体層（p型クラッド層及びp型コンタクト層）
- 106A … 正電極
- 106B … 負電極（チップの表側に形成）
- 106C … 負電極（チップの裏側に形成）
- 107, 107',
- 107 $\beta$  … 誘電体多層膜
- 108 … 放熱用金属層
- 109 $\alpha$  … バッファ層
- 109 $\beta$  … 半導体層（バッファ層とp型のGaN層）
- 110 … 絶縁性保護膜
- 50 … リードフレーム
- 51 … メタルポスト
- 52 … サブマウント（導電性）



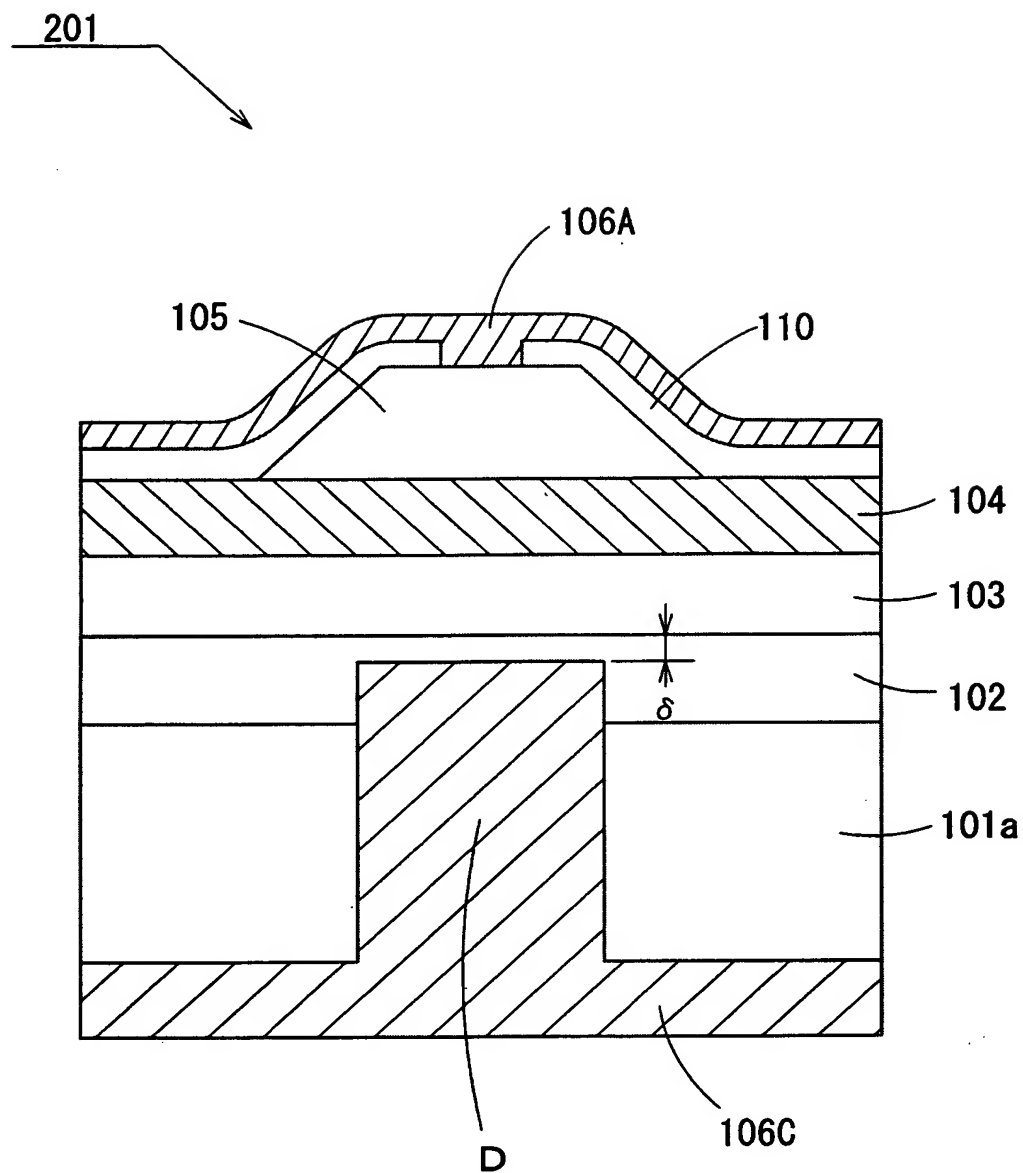
- 5 3 … メタルステム (ヒートシンク)
- 5 7 … ポスト側金線
- 5 8 … メタルステム側金線
- $\lambda$  … 発光波長
- $n$  …  $n$ 型コンタクト層の屈折率
- $n_{eq}$  …  $n$ 型コンタクト層の導波モードの等価屈折率
- $D$  … 結晶成長基板裏面の凹部
- $\delta$  … 凹部  $D$  における  $n$ 型コンタクト層の残存膜厚
- $f(\lambda)$  … 発光波長  $\lambda$  の関数
- $\Lambda$  … 関数  $f(\lambda)$  の関数値

【書類名】 図面

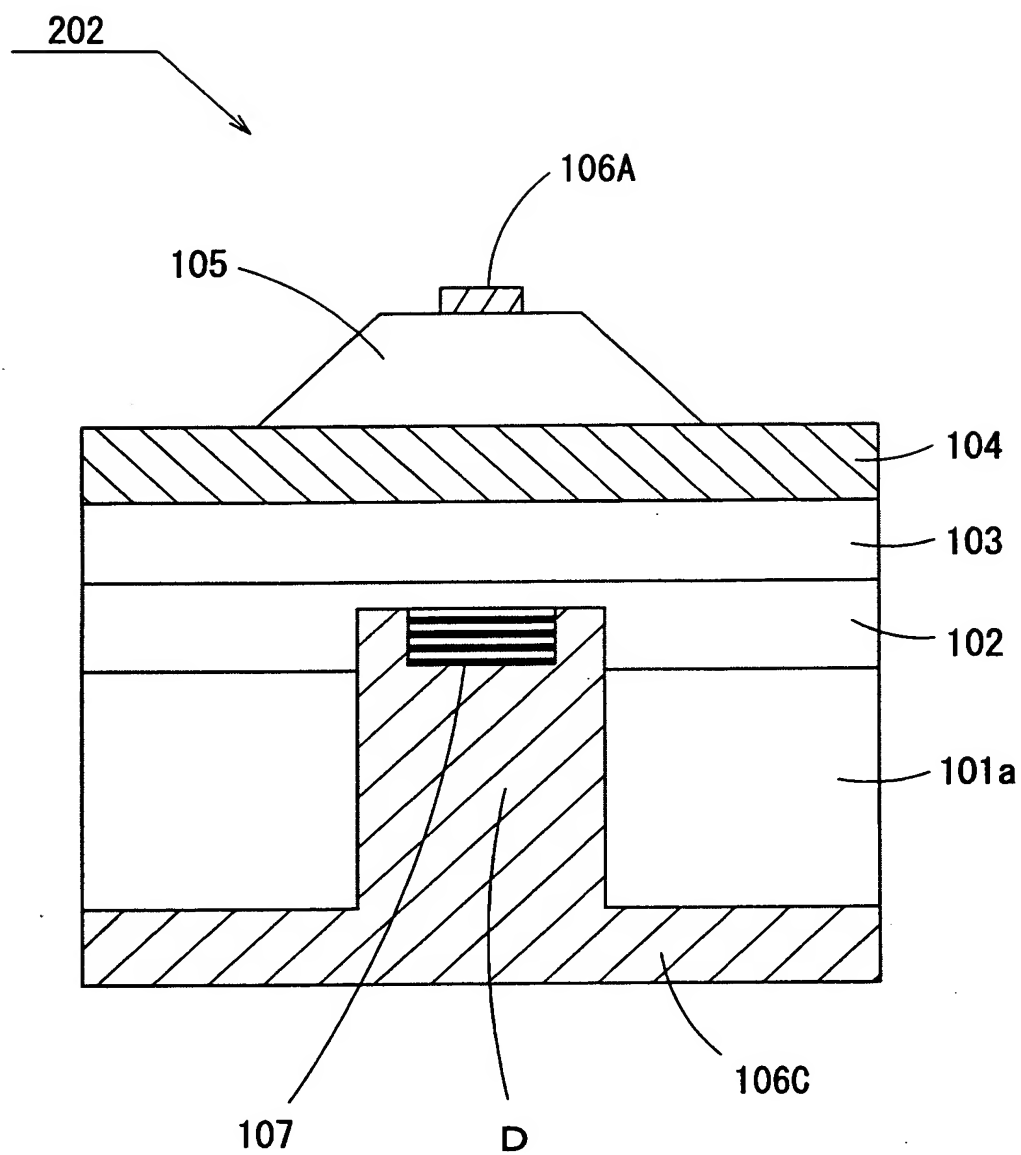
【図 1】



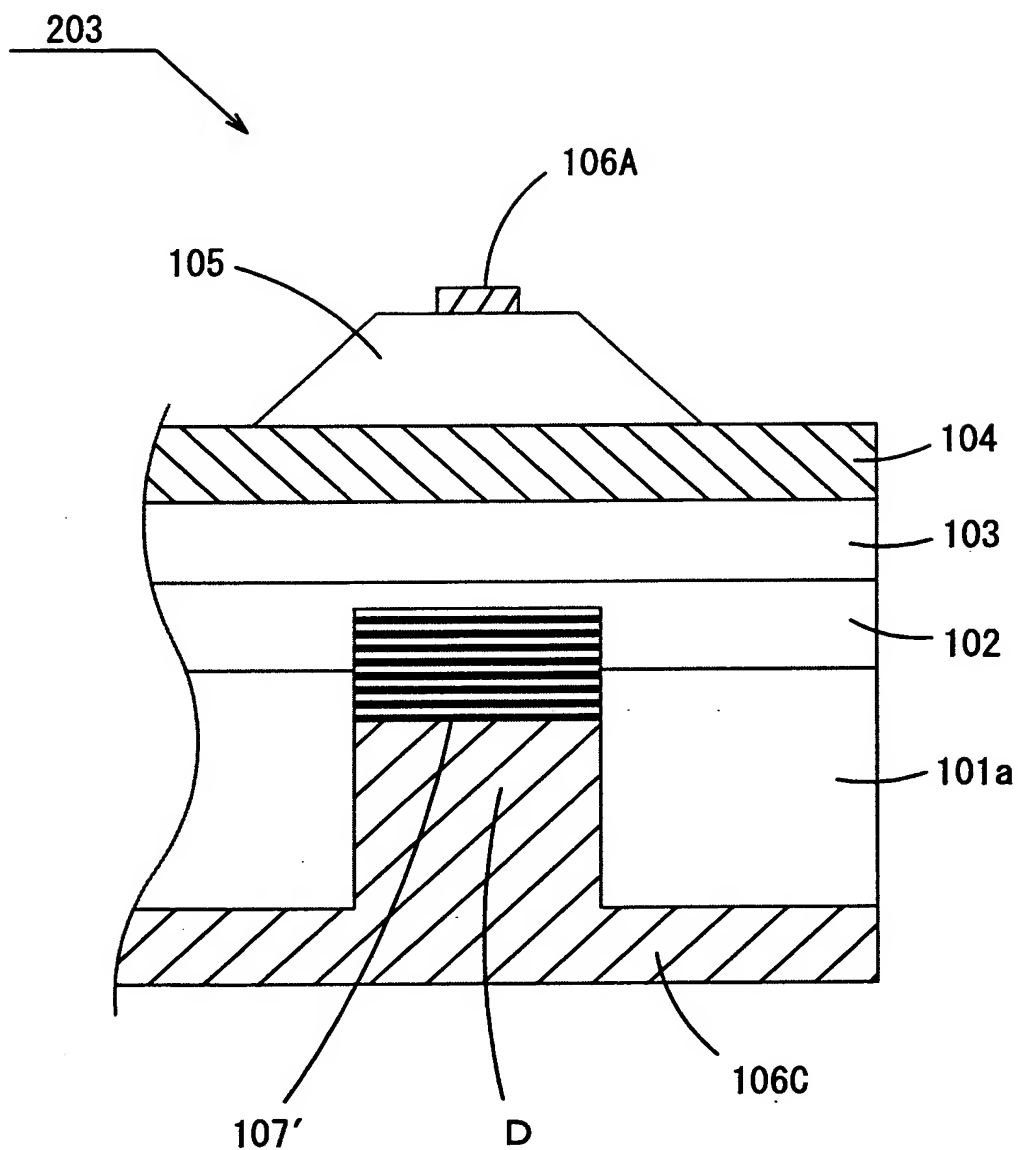
【図 2】



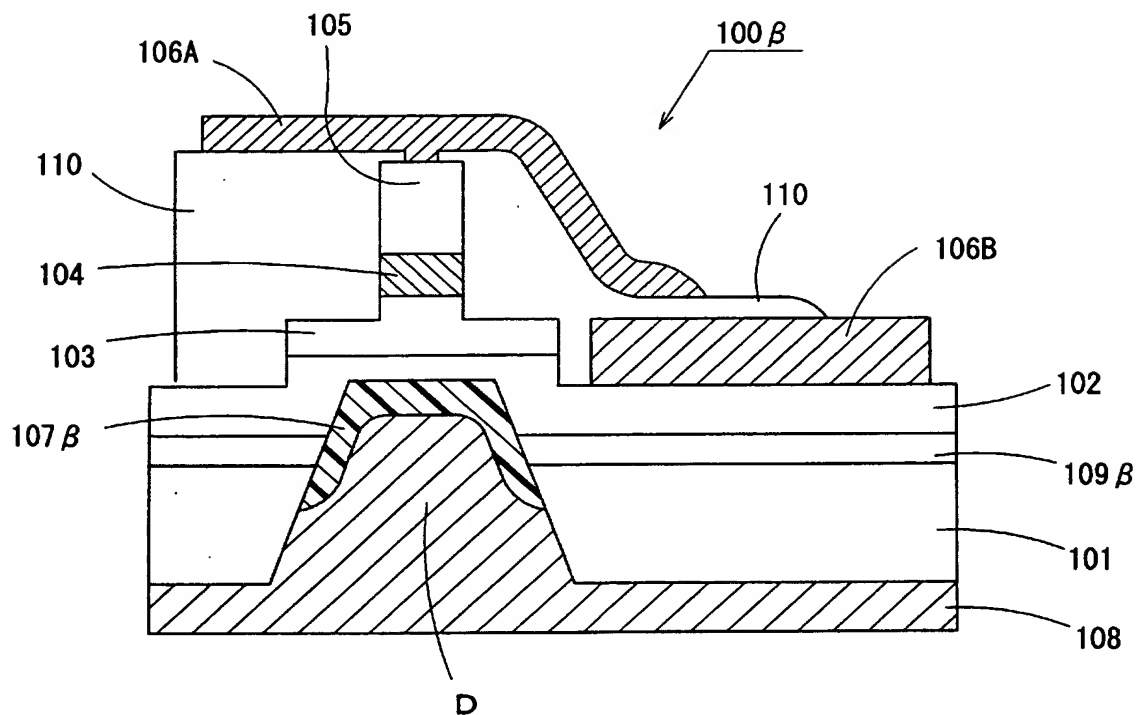
【図 3】



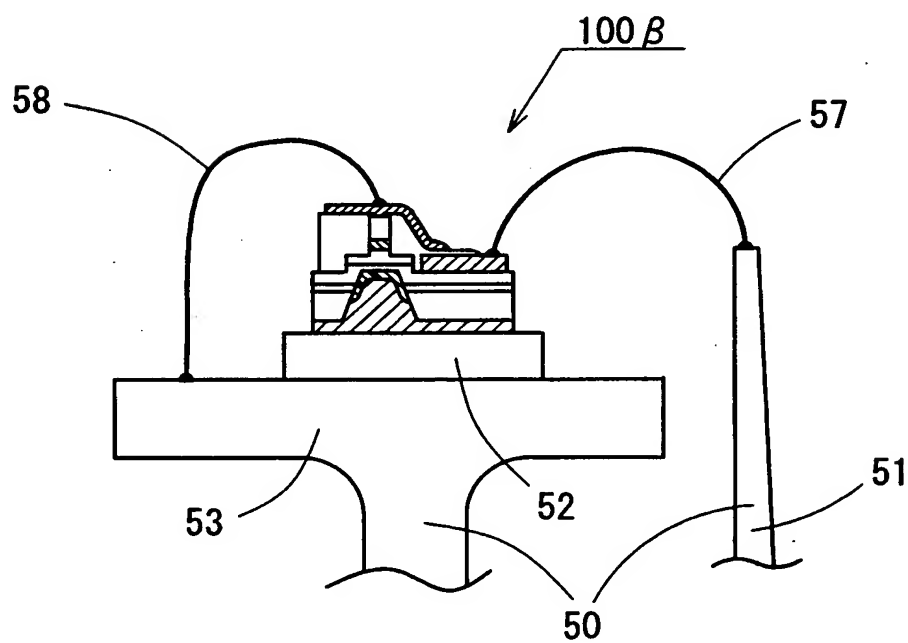
【図 4】



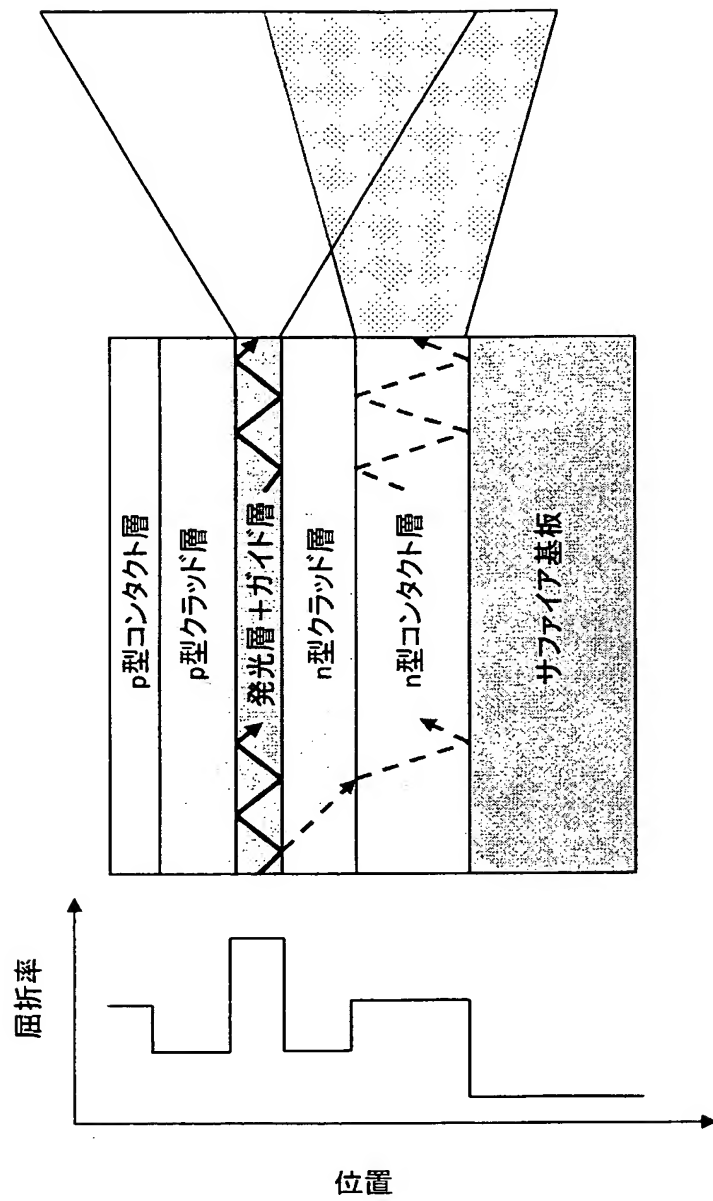
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 安定して発振する半導体レーザにおいて、従来よりも効果的に n 型コンタクト層から漏れ出る光の干渉縞（F F P の乱れ）を抑制すること。

【解決手段】 従来の n 型コンタクト層に現れる干渉縞の間隔  $\Lambda$  は、発光出力部 104 から放出される光の発光波長  $\lambda$ 、n 型コンタクト層の屈折率  $n$ 、n 型コンタクト層の導波モードの等価屈折率  $n_{eq}$  の関数（ $f(\lambda) = \lambda (n^2 - n_{eq}^2)^{-1/2} / 2$ ）で与えられる。また、結晶成長基板裏面の凹部 D における n 型コンタクト層 102 の残存膜厚  $\delta$  は  $\Lambda / 2$  程度で良い。少なくとも共振器の真下に位置する n 型コンタクト層の一部分を  $\delta$  程度の膜厚で残しておけば、共振器直下においても負電極とのコンタクトが良好に確保できるので、効果的な光の閉じ込め作用に基づいて n 型コンタクト層から漏れ出る光に依る F F P の乱れを十分に抑制することができると同時に、安定して発振する半導体レーザが製造できる。

【選択図】 図 1



特願 2 0 0 3 - 0 2 2 1 1 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 2 4 1 4 6 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑 1 番地

氏 名

豊田合成株式会社